

水利工程监测技术的发展与应用

林钦城 黄泽钦

广州市荔湾区市政建筑检测实验中心 510360

【摘要】水利工程是国家重要基础设施之一，可以起到防洪减灾、水资源调配、农业灌溉等作用。不过，水利工程的结构较为复杂，且规模庞大，使其安全隐患具有隐蔽性、连锁性与突发性的特点。对于水库大坝的渗漏、水闸振动、堤防管涌等情况，若未进行有效监测与处理，很可能会引发溃坝、溃堤等事故，造成较为严重的人员伤亡和经济损失。而水利工程监测技术作为对水利工程安全隐患进行监测的主要手段，不但可以切实保障水利工程项目的安全运行，也可以提升管理的效率。基于此，本文主要分析水利工程监测技术的发展，并探究水利工程监测技术的应用，旨在发挥水利工程监测技术的最大化优势，在保证工程安全性的基础上，推动水利事业的稳定发展。

【关键词】水利工程；安全隐患；监测技术；发展；应用

Development and Application of Monitoring Technology in Water Conservancy Engineering

Lin Qin Cheng Huang Ze Qin

Guangzhou Liwan District Municipal Construction Testing and Experimentation Center 510360

【Abstract】Water conservancy engineering is one of the important national infrastructure, which can play a role in flood control and disaster reduction, water resource allocation, agricultural irrigation, and so on. However, the structure of water conservancy projects is relatively complex and the scale is large, which makes their safety hazards characterized by concealment, interlocking, and suddenness. If effective monitoring and treatment are not carried out for leakage, water gate vibration, and embankment piping in reservoir dams, it is likely to cause accidents such as dam and embankment breaches, resulting in serious casualties and economic losses. As the main means of monitoring safety hazards in water conservancy projects, water conservancy engineering monitoring technology can not only effectively ensure the safe operation of water conservancy projects, but also improve management efficiency. Based on this, this article mainly analyzes the development of water conservancy engineering monitoring technology and explores the application of water conservancy engineering monitoring technology, aiming to maximize the advantages of water conservancy engineering monitoring technology, promote the stable development of water conservancy industry on the basis of ensuring engineering safety.

【Key words】water conservancy engineering; hidden danger; Monitoring technology; development application

水利工程属于为控制、利用并保护地表和地下水资源所修建的水库、大坝、灌溉渠等各项工程的总称。而水利工程监测的重点就是依据工程结构的安全、运行状态、周边环境影响，对水位、变形、渗流等指标进行跟踪与分析，以此实现对工程健康状况的实时把握。近些年，随着水利工程建设规模的逐渐扩大与使用年限的增长，早期监测手段在数据精度、覆盖范围等方面存在较为明显的不足。所以，相关人员需要对水利工程监测技术的发展与应用进行研究，以便有效应对水利工程长期运行中的问题，并顺应新时代水利事业的发展需求，确保水利工程的运行更加安全、稳定。

一、水利工程监测的重要性

水利工程是人类对水资源进行开发利用，有效防治水旱灾害的重要基础设施，如下图所示。水利工程监测作为保障水利工程安全运行的关键，其重要性体现在多个方面。其一，可以有效提升水利工程管理效率。相关人员通过水利工程监

测，可以对工程结构的关键指标进行实时捕捉与分析，从而为工程管理的决策提供准确数据。管理人员可以基于相关数据对工程运行中的各种变化加以掌握，以此实现对管理流程的优化，并合理调配资源，防止由于信息滞后或者判断失误而导致影响工程管理效率，进一步提升水利工程的管理效能^[1]。其二，可以确保水利工程更加安全、稳定。水利工程属于与国计民生息息相关的重要基础设施，其运行的安全性和稳定性直接对下游地区人民生命财产安全和社会经济发展带来影响。而相关人员通过科学开展监测工作，可以及时对工程结构可能存在的渗漏、变形等安全隐患加以发现，并通过科学维护与风险防控，避免发生安全事故，使得水利工程在长期运行中更加稳定与安全。其三，可以实现水资源的可持续利用。在水利工程监测工作中，相关人员可以通过对工程运行中的水位、流量等信息进行不间断的监测与分析，为水资源的合理调配与优化利用提供更加可靠的信息，从而实现对水资源承载能力的精准化评估，以便制定更加科学的水资源开发利用方案，防止存在水资源浪费的情

况，进一步促进水资源的可持续利用^[9]。



图 1 水利工程

二、水利工程监测技术的发展

表 1 传统监测技术与智能化监测技术对比

	传统监测技术	智能化监测技术
数据采集频率	每周/每月/每季度	实时/分钟级
覆盖范围	局部区域	全工程范围
数据精度	$\pm 5\text{mm} \sim \pm 10\text{mm}$ (位移)	$\pm 0.1\text{mm} \sim \pm 1\text{mm}$ (位移)
响应时间	数小时 ~ 数天	秒级
成本	初期成本低，长期运维成本高	初期成本中等，长期运维成本低

(二) 传感器技术

在水利工程监测中，传感器技术的应用可以对水文、水质、气象等信息进行实时采集与传输。水利工程监测中所使用的传感器涵盖多种类型，包括水位传感器、水质传感器等，可以通过高精度的测量技术，使得流量、pH 值、水位、气温、湿度等指标转化为可以传输的数字信号或者电信号，实现远程的监控与数据分析，进一步提高水利工程管理效率。其中，水位传感器的主要作用就是对水体的水位变化进行实时动态化监测，可以为防洪调度工作的开展提供信息支撑。水质传感器则可以对水体中的浊度、溶解氧含量等指标进行检测，从而保证水资源保护工作得到有序开展。通过传感器技术的应用，可以使得水利工程监测数据更加准确，并具有较强的时效性，从而为水利工程监测的智能化提供坚实基础支撑^[10]。

(三) 遥感技术

遥感技术在水利工程监测中，可以发挥非接触式、大范围以及多时相的优势。而遥感技术主要包括卫星遥感与无人机遥感两种类型。其中，卫星遥感技术主要是通过搭载分辨率较高的成像仪、红外扫描仪等传感器，实现对地表形态、水域分布、工程设施的广域覆盖与周期性重复观测。如，Landsat 卫星系列在水资源灾害与监测中，便注重通过提供数十年的连续数据，以此实现对全球水体的有效监测。在我国黄河流域的水资源管理中，Landsat 8 卫星搭载的 OLI 传

(一) 传统监测方法

传统的水利工程监测主要以人工巡检以及机械化设备为主，注重运用浮标法、测尺法以及水准仪等。不过，随着时代的发展，传统监测方法逐渐显露出弊端，无法对现代社会的水利工程安全性、效率性、可持续性要求加以满足。具体而言，人工测量通常会在每周、每月甚至每季度进行一次监测，无法对瞬时的变化加以捕捉，使得数据采集的效率比较低。并且，人工巡检特别容易受到地形以及人力方面的影响，很难覆盖比较复杂的工程区域。再加上监测后的人工读数 and 记录，易受相关工作人员经验水平的干扰，进而导致数据一致性较差。此外，传统监测方法从数据采集到分析决策的周期比较长，由于响应滞后，导致无法对突发事件的应急需求加以满足^[9]。而如今，智能化监测技术的诞生，使其在水利工程监测方面具有较大的优势，传统监测技术与智能化监测技术对比如下表所示。

感器能够以 30m 精度对河流、灌区以及水库进行监测，从而为水量的调配与干旱监测提供数据^[9]。而无人机遥感技术则可以实现对水利工程局部的精细化监测，无人机通过对可见光相机、多光谱传感器、热红外成像仪等设备加以搭载，可以提供 5cm 分辨率的影响，从而对堤坝表面的裂缝进行识别，并对库区岸坡变形情况进行监测，如下图所示。水利工程监测中遥感技术的应用，使得水利工程管理从经验为主逐渐转向为数据驱动，推动水利工程监测技术朝着智能化与高效化转型。



图 2 无人机遥感技术

三、水利工程监测技术的应用

(一) 实时监测与预警

当前,水利工程监测技术在实时监测与预警方面会得到较为广泛的运用。相关人员可以将传感器部署在大坝坝体、库区周边、输水管道等位置,从而持续对坝体沉降、水位、渗流压力等进行采集。在此过程当中,若发现某一参数超出预设的阈值,便会触发报警机制。此时,管理人员便会通过多种渠道第一时间接收到信息,包括手机短信、监控中心大屏等。预警信息不但会涵盖实际的数据,还会标注预警的级别,更注重根据历史数据与工程的实际情况,给出相应的建议。在接收到相关信息之后,工作人员就可以通过遥感技术,对异常区域的宏观影响加以获取,结合传感器所采集的微观数据,对险情进行多维度分析并确定范围。如,传感器在监测到某一段堤坝的渗流压力增加,并触发预警之后,无人机便会立即前往相应区域进行航拍,通过热红外成像对渗透点进行精准识别,从而通过微观检测与宏观遥感的协同方式,缩短从发现隐患到制定处置方案的时间,有效提高水利工程监测的效率与质量。

(二) 工程结构健康监测

在工程结构健康监测中,水利工程监测技术的应用需要相关人员结合水利工程的类型与结构特点,对相应的传感器进行安装。在实际进行安装的过程当中,相关人员需要去除安装表面的浮浆与杂质,并用氧树脂将传感器牢固粘贴在测点位置,从而实现了对坝体或者堤防在荷载作用下微小应变的捕捉。完成传感器安装之后,便可以通过屏蔽线缆或无线传输模块与数据采集装置相连接。此时,采集装置便会按照预设的采样频率采集数据,并将数据进行加密处理,通过混合网络架构传输至数据处理中心^[6]。数据处理中心的服务器中则可以对原始数据进行预处理,实时采集的应变、应力、温度等数据与历史数据库中同类工程在不同工况下的数据进行比对分析。若发现某监测点的应变值在短期内正在持续上升,且其增长速率超出历史同期平均水平的 1.5 倍,便会结合该区域的地质勘察资料及水文气象数据,综合判断是否存在坝体裂缝扩展或地基不均匀沉降等潜在安全风险。为更加全面地对工程结构健康状况进行评估,相关人员还可以依托遥感技术,以卫星获取监测区域的 SAR 影像,结合无人机搭载的 LiDAR 设备采集的点云数据,构建工程周边区域的

三维地形模型。通过对不同时期的 SAR 影像进行差分干涉处理,监测地表的沉降变形情况。而 LiDAR 点云数据则可以反映地形地貌的变化,帮助相关人员及时发现库区周边是否存在滑坡、崩塌等地质隐患,从而为水利工程的安全运行和维护提供技术支持。

(三) 水资源管理与调度

在水资源管理与调度的工作中,为切实发挥水利工程监测技术的作用,相关部门会构建综合管理系统,系统由多层次监测网络、智能分析平台以及动态调度模块三大核心部分组成。通过在流域内的主要河流、水库、湖泊以及重要取水口、排污口等节点,密集布设智能传感器,以便将采集到的光学信号和电化学信号转化为数字量。而后,通过 RS485 总线或 LoRa 无线通信协议汇聚到区域数据采集终端,终端再通过光纤专线将加密数据上传至云端数据中心。此时,云端数据中心搭载的分布式计算框架会对海量监测数据进行实时清洗与融合,结合气象预报模型、水文动力学模型以及机器学习算法,构建水资源供需预测模型^[7]。模型则能够动态模拟不同来水情景下流域内各水库的蓄水量变化、农业灌溉需水量、工业用水消耗量以及城市生活用水需求,精准预测未来 72 小时的水资源供需缺口。在此基础上,智能分析平台就可以基于预测结果,自动生成多套水资源调度方案,从而使得水资源调度更加科学以及合理。

结束语:

综上所述,从传统的人工巡检与机械化设备应用到现代水利工程监测技术的发展,每一项水利工程监测技术的进步都会为水资源管理提供新的视角。现代水利工程监测技术的应用,现已成为进一步提高水资源管理效率,保证水利工程安全性的重要手段。而随着科学技术的不断发展,水利工程监测也必将依赖高科技的支撑,推动水利工程监测技术的深度融合与创新应用,从而实现了对水资源的可持续利用,并促进社会的可持续发展。

参考文献

- [1]马浩然.水利工程大坝的安全监测技术分析[J].水上安全, 2024, (22): 40-42.
- [2]郭俊辰.水利工程安全风险分析及信息化技术应用探析[J].海河水利, 2024, (10): 124-128.
- [3]王永萌.GIS 技术在新时代水利工程信息化建设中的应用研究[J].科技资讯, 2024, 22 (15): 182-184.
- [4]蔡泽军.水利工程施工中渗流监测技术研究[J].地下水, 2024, 46 (04): 278-279.
- [5]朱林.安徽省驷马山灌区水利工程安全监测建设探析[J].东北水利水电, 2024, 42 (07): 56-59.
- [6]谢亚丽, 渠谢雨.声纹 AI 监测技术在智慧水利工程中的应用[J].信息与电脑(理论版), 2024, 36 (03): 133-135.
- [7]李炳磊, 刘宗国, 李炳亮.基于遥感技术的水利工程施工环境污染监测方法研究[J].环境科学与管理, 2024, 49 (01): 119-123.